

Grandezze fisiche e misura

Corso di Elementi di Fisica e Biomeccanica
A.A. 2015-2016



Elementi di Fisica e Biomeccanica
A.A. 2015-2016 - Prof. Nicola Cavallo

1

Sommario

- Introduzione: fenomeni biologici e Fisica
- Grandezze fisiche
- Grandezze adimensionali e dimensionali
 - Fondamentali
 - Derivate
 - Equazioni dimensionali
- Sistema Internazionale delle Unità di Misura
 - Costanti fondamentali
 - Conversione tra unità differenti di misura
 - Lunghezza, tempo, massa
- Misurazione
- Stima
- Grandezze scalari e vettoriali

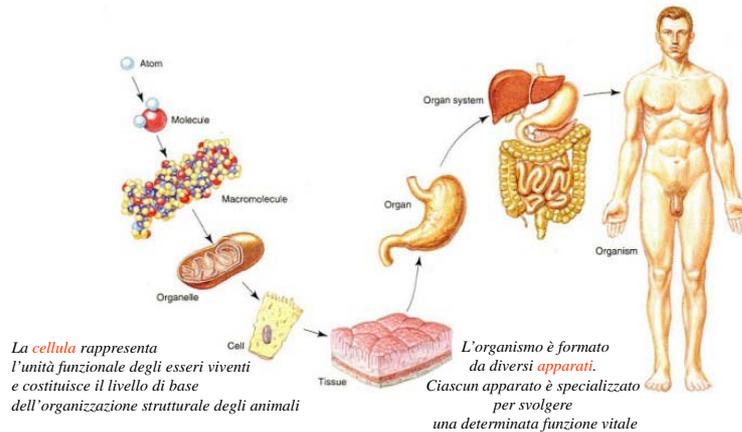


Elementi di Fisica e Biomeccanica
A.A. 2015-2016 - Prof. Nicola Cavallo

2

Organi e Sistemi viventi

- Le strutture microscopiche chiamate **cellule** costituiscono le entità fondamentali dei sistemi biologici.



Fenomeni biologici e Fisica

- La descrizione dei fenomeni biologici (alla base del funzionamento degli organi e dei sistemi degli organismi viventi - e dell'uomo -) richiede la conoscenza di due discipline scientifiche sperimentali:

- **Fisica**
- **Chimica**



Funzioni degli apparati viventi

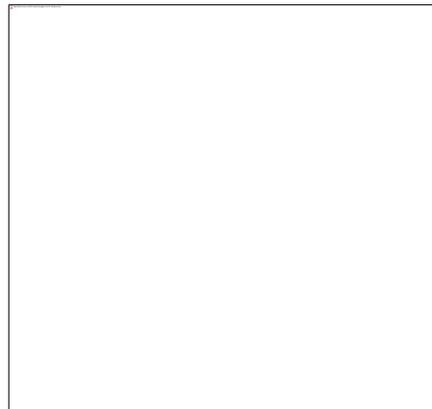
- L'organismo è formato da diversi **apparati**.
- Ciascun apparato è specializzato per svolgere una determinata funzione vitale:
 - Assunzione, digestione e assorbimento del cibo
 - Scambio dei gas
 - Trasporto, rimozione sostanze nutrienti
 - Filtrazione ed eliminazione
 - Percezione, elaborazione e risposta agli stimoli
 - Sostegno fisico
 - Movimento
 - Riproduzione



Scambio dei gas

- Queste funzioni sono realizzate dall'**apparato respiratorio**.

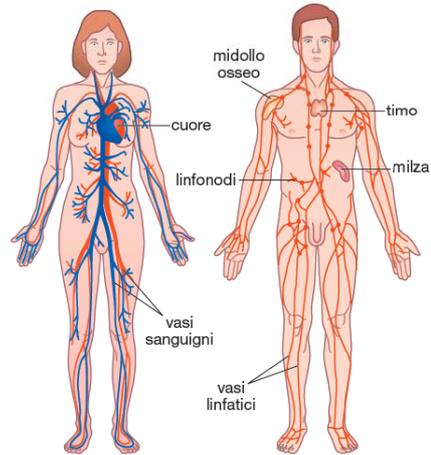
- Pressione
- Inspirazione
- Espirazione
- Diaframma
- Modello polmonare
- Scambio di gas



Trasporto, rimozione sostanze nutritive

- Le funzioni di
 - trasporto dell'ossigeno,
 - trasporto delle sostanze necessarie alla vita delle cellule
 - rimozione delle sostanze di rifiuto
- sono realizzate del **sistema circolatorio**.
- Associato al circolatorio si trova anche il **sistema immunitario**, la cui funzione è quella di difendere l'organismo dalle infezioni.

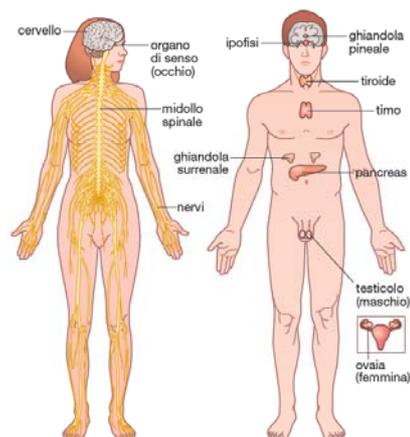
- Fluidi reali
- Pressione
- Sistema venoso/arterioso



Percezione, elaborazione e risposta agli stimoli

- Le funzioni relative alla **percezione**, l'**elaborazione** e la **risposta** agli stimoli ricevuti dagli organi di senso realizzate dal **sistema nervoso** e dal **sistema endocrino**.

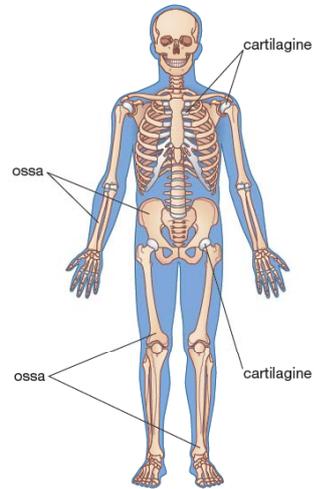
- Comunicazione nervosa



Funzione di sostegno

- La funzione di sostegno del corpo è svolta dall'**apparato scheletrico**.

- Biomeccanica del movimento



Movimento

- Le funzioni di **movimento** sono realizzate dall'**apparato muscolare**.

- Meccanica
- Forze
- Macchine semplici (Leve)
- Lavoro
- Energia



Fisica e Strumentazione

- Nella *pratica medica* e nei *laboratori biologici* le moderne tecnologie comportano la conoscenza e l'uso di sempre più complesse ed importanti
 - *Strumentazione per ricerca*
 - *Strumentazione diagnostica*
 - *Strumentazione per la terapia*
- La conoscenza dei principi di funzionamento di tali strumenti richiede la conoscenza di principi della **Fisica di base** e, talvolta, avanzata.



Grandezze fisiche

- La Fisica è una **scienza sperimentale** basata sull'**osservazione**.
- Ciascun fenomeno è descritto matematicamente.
- È necessario, quindi, definire
 - gli “*oggetti*” che vengono osservati (**grandezze fisiche**)
 - il *metodo* con cui a questi “*oggetti*” vengono associate delle quantità matematiche (**operazione di misurazione delle grandezze**, *attraverso numeri, vettori, etc.*)



Grandezze fisiche

- La Fisica è basata sul **processo di misura**
 - *Quali sono le grandezze da misurare (lunghezza, il tempo, la massa, la temperatura, la pressione, la resistenza elettrica, etc.)*
 - *Come misurarle*
 - *Come comunicare ad altri ciò che si è ottenuto*
- La misura di ogni grandezza fisica viene espressa in una unità - *universalmente conosciuta* - mediante confronto con un campione invariante.
- Le grandezze da misurare in natura sono moltissime. Occorre, quindi, definirne alcune (**grandezze fondamentali**) e misurare le altre indirettamente.



Grandezza fisica

- La definizione di una grandezza fisica è interamente collegata alla possibilità di misurare la grandezza stessa.

DEF: **Grandezza Fisica**

- quantità tale per cui si possa eseguire su di essa una *misura*, una operazione cioè che esprima il rappporto tra la quantità in esame e un campione, ad essa omogeneo, scelto come unità.

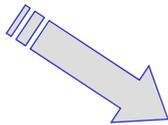


Grandezze fisiche

- In Fisica possiamo considerare tre tipi di grandezze:
 - **Grandezze adimensionali**: prive di dimensioni (es. densità relativa)
 - **Grandezze scalari**: modulo (es. tempo, massa, temperatura)
 - **Grandezze vettoriali**: modulo, direzione e verso (es. velocità, accelerazione, forza)



Misura di lunghezza



Esempio: Meccanica

- Nel campo della Meccanica sono **grandezze fondamentali** (*non sono definibili in termini di altre grandezze*):
 - la massa,
 - la lunghezza e
 - il tempo
 - etc...
- Sono **grandezze derivate** (sono definite in termini delle tre grandezze fondamentali):
 - velocità,
 - accelerazione,
 - forza, lavoro,
 - pressione
 - etc...



Equazioni dimensionali

- Data una grandezza X , la sua equazione “*dimensionale*” si esprime in generale nel modo seguente:

$$[X] = [M^a][L^b][t^c]$$

- dove
 - M , L , t rappresentano le tre grandezze fondamentali massa, lunghezza e tempo,
 - a , b , c sono numeri relativi che stabiliscono da quali potenze delle grandezze fondamentali dipende la grandezza derivata X .



Equazioni dimensionali

- Poiché i termini di una qualsiasi equazione scientifica **“devono”** avere le stesse dimensioni (*infatti solo quantità fisiche aventi le stesse dimensioni possono essere sommate fra di loro od eguagliate le une alle altre*) spesso è necessario procedere ad una verifica formale.
- Il controllo dimensionale è spesso utilizzato per stabilire la correttezza o meno di una relazione fisica.



Equazioni dimensionali: esempi

$$v = \frac{s}{t}$$

$$\left[\frac{l}{t}\right] = \frac{[l]}{[t]} = [lt^{-1}]$$

$$a = \frac{v}{t}$$

$$\left[\frac{l}{t^2}\right] = \frac{\left[\frac{l}{t}\right]}{[t]} = [lt^{-2}]$$

$$s = \frac{1}{2}at^2$$

$$\rho = d = \frac{m}{V}$$

$$[l] = \left[\frac{l}{t^2}\right][t^2] = [lt^{-2}t^2] = [l] \quad [d] = \frac{[m]}{[l^3]} = [ml^{-3}]$$



Equazioni dimensionali: verifica

$$s = v(t - t_0) - at^2 + v_0$$

$$[L] = [L^{-1}]([t]) - [L^{-2}t^2] + [L^{-1}]$$

$$[L] = [L] - [L] + [L^{-1}]$$

$$[L] = [L] + [L^{-1}]$$

• Relazione scorretta !!!

$$x - x_0 = v(t - t_0) + \frac{1}{2}at^2$$

$$[L] - [L] = [L^{-1}]([t]) + [L^{-2}t^2]$$

$$[L] - [L] = [L] + [L]$$

$$[L] = [L]$$

• Relazione corretta



Il Sistema Internazionale delle unità di misura

- Il sistema internazionale delle unità di misura (definito da un'apposita commissione nel 1971) e adottato internazionalmente (*adottato in Italia con il D.P.R. 12 agosto 1982, n° 802*) è chiamato **Sistema Internazionale (S.I.)**.
- Esso assume alcune grandezze “*fondamentali*” ed altre “*derivate*”.
- In Meccanica le grandezze fondamentali sono
 - il *metro (m)*,
 - il *chilogrammo (kg)* e
 - il *secondo (s)*.



Il Sistema Internazionale delle unità di misura

- Il S.I. è costituito da 7 grandezze fondamentali (definite da un'apposita commissione nel 1971)

Grandezza	Nome	Simbolo	Definizione
lunghezza	metro	m	"...la lunghezza è la distanza percorsa dalla luce nel vuoto in $1/299792458$ di secondo" (1983)
massa	kilogrammo	kg	"...questo prototipo (un particolare cilindro di platino-iridio) potrà d'ora in poi essere considerato l'unità di massa"
tempo	secondo	s	"...la durata di 9 192 631,770 periodi della radiazione corrispondente alla transizione tra i due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo di cesio 133" (1967)
corrente elettrica	ampere	A	"...quella corrente costante che, passando in due conduttori paralleli rettilinei infinitamente lunghi, di sezione circolare trascurabile, posti a 1 m di distanza nel vuoto, produce tra i due conduttori una forza di $2 \cdot 10^{-7}$ N per metro di lunghezza" (1946)
temperatura termodinamica	kelvin	K	"...la frazione $1/273,16$ della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua" (1967)
quantità di sostanza	mole	mol	"...la quantità di sostanza di un sistema che contiene tante entità elementari quanti sono gli atomi contenuti in 0,012 kg di carbonio 12" (1971)
intensità luminosa	candela	cd	"...l'intensità luminosa, in una data direzione, di una sorgente che emette una radiazione monocromatica di frequenza $540 \cdot 10^{12}$ Hz e la cui intensità energetica in tale direzione è di $(1/683)$ W/sr" (1979)



S.I. - Grandezze derivate

Grandezza	Nome	Simbolo	Unità equivalenti
superficie	metro quadrato	m ²	
volume	metro cubo	m ³	
frequenza	hertz	Hz	s ⁻¹
massa volumica ^d	kilogrammo al metro cubo	kg/m ³	
velocità	metro al secondo	m/s	
velocità angolare	radiante al secondo	rad/s	
accelerazione	metro al secondo quadrato	m/s ²	
accelerazione angolare	radiante al secondo quadrato	rad/s ²	
forza	newton	N	kg · m/s ²
pressione	pascal	Pa	N/m ²
energia, lavoro, calore	joule	J	N · m
potenza, flusso radiante	watt	W	J/s
quantità di elettricità, carica elettrica	coulomb	C	A · s
potenziale elettrico, differenza di potenziale, forza elettromotrice	volt	V	N · m/C
campo elettrico	volt al metro	V/m	N/C
capacità elettrica	farad	F	A · s/V
resistenza elettrica	ohm	Ω	V/A
flusso magnetico	weber	Wb	V · s
induzione magnetica	tesla	T	Wb/m ² , N/(A · m)
induttanza	henry	H	V · s/A
entropia	joule al kelvin	J/K	
calore specifico	joule al kilogrammo per kelvin	J/(kg · K)	
conduttività termica	watt al metro per kelvin	W/(m · K)	
intensità radiante	watt allo steradiante	W/sr	



S.I. - Unità supplementari

Grandezza	Nome	Simbolo
angolo	radiante	rad
angolo solido	steradiane	sr



Alfabeto greco

TABELLA E.2 Alfabeto greco

alfa	A	α	iota	I	ι	rho	P	ρ
beta	B	β	kappa	K	κ	sigma	Σ	σ
gamma	Γ	γ	lambda	Λ	λ	tau	T	τ
delta	Δ	δ	mu	M	μ	ipilon	Y	ν
epsilon	E	ϵ	nu	N	ν	phi	Φ	ϕ
zeta	Z	ζ	xi	Ξ	ξ	chi	X	χ
eta	H	η	omicron	O	o	psi	Ψ	ψ
theta	Θ	θ	pi	Π	π	omega	Ω	ω



Prefissi per le unità del S.I.

TABELLA E.3

Prefissi per potenze di 10

10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	chilo	k
10^{-3}	milli	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a



Costanti fondamentali

- Nelle relazioni della Fisica si incontrano spesso delle quantità fisiche che hanno un valore costante.
- Queste costanti possono essere
 - **numeri puri** (es. il *numero di Avogadro* che rappresenta il numero di atomi o molecole contenute in una grammomolecola di qualsiasi sostanza),
 - **quantità dimensionali** (la *velocità della luce nel vuoto*) come accade più spesso.

TABELLA 1.3 Costanti fondamentali della Fisica

velocità della luce nel vuoto	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
carica elettrica dell'elettrone	$e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
massa dell'elettrone	$m = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
massa del protone	$M = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
costante di Planck	$h = 6.6 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$
numero di Avogadro	$N_A = 6.02 \cdot 10^{23} \text{ mole}^{-1}$
costante dei gas perfetti	$R = 8.3 \text{ J K}^{-1} \text{ mole}^{-1} = 0.082 \text{ litri atm K}^{-1}$
costante di Boltzmann	$k = R/N_A = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
costante di Faraday	$F = N_A e = 96487 \text{ C mole}^{-1}$
costante dielettrica del vuoto	$\epsilon_0 = 8.86 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$
costante gravitazionale	$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$
permeabilità del vuoto	$\mu_0 = 1.256 \cdot 10^{-6} \text{ kg m C}^{-2}$
costante di Stefan-Boltzmann	$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ watt m}^{-2} \text{ K}^{-4}$
costante di Wien	$b = 2.897 \cdot 10^{-3} \text{ m K}$
equivalente meccanico della caloria	$J = 4.18 \text{ joule/caloria}$



Esempi

Lunghezza						
	cm	m	km	pollici (in)	piedi (ft)	miglia (mi)
1 centrimetro =	1	10^{-2}	10^{-5}	0,3937	$3,281 \cdot 10^{-2}$	$6,214 \cdot 10^{-6}$
1 METRO =	100	1	10^{-3}	39,37	3,281	$6,214 \cdot 10^{-4}$
1 kilometro =	10^5	1000	1	$3,937 \cdot 10^4$	3281	0,6214
1 pollice (inch) =	$2,540 \cdot 10^{-2}$	$2,540 \cdot 10^{-2}$	$2,540 \cdot 10^{-5}$	1	$8,333 \cdot 10^{-2}$	$1,578 \cdot 10^{-5}$
1 piede (foot) =	30,48	0,3048	$3,048 \cdot 10^{-4}$	12	1	$1,894 \cdot 10^{-4}$
1 miglio (mile) =	$1,609 \cdot 10^5$	1609	1,609	$6,336 \cdot 10^4$	5280	1
1 ångström (Å) = 10^{-10} m			1 anno-luce = $9,460 \cdot 10^{12}$ km		1 iarda = 3 ft	
1 miglio marino = 1852 m = 1,151 miglia = 6076 ft			1 parsec = $3,084 \cdot 10^{13}$ km			
1 fermi = 10^{-15} m			1 raggio di Bohr = $5,292 \cdot 10^{-11}$ m			

Tempo					
	a	d	h	min	s
1 anno =	1	365,25	$8,766 \cdot 10^3$	$5,259 \cdot 10^5$	$3,156 \cdot 10^7$
1 giorno =	$2,738 \cdot 10^{-3}$	1	24	1440	$8,640 \cdot 10^4$
1 ora =	$1,141 \cdot 10^{-4}$	$4,167 \cdot 10^{-2}$	1	60	3600
1 minuto =	$1,901 \cdot 10^{-6}$	$6,944 \cdot 10^{-4}$	$1,667 \cdot 10^{-2}$	1	60
1 SECONDO =	$3,169 \cdot 10^{-8}$	$1,157 \cdot 10^{-5}$	$2,778 \cdot 10^{-4}$	$1,667 \cdot 10^{-2}$	1

Velocità					
	ft/s	km/h	m/s	mi/h	cm/s
1 piede al secondo =	1	1,097	0,3048	0,6818	30,48
1 kilometro all'ora =	0,9113	1	0,2778	0,6214	27,78
1 METRO al SECONDO =	3,281	$3,6$	1	2,237	100
1 miglio all'ora =	1,467	$1,609$	0,4470	1	44,70
1 centimetro al secondo =	$3,281 \cdot 10^{-2}$	$3,6 \cdot 10^{-2}$	0,01	$2,237 \cdot 10^{-2}$	1

1 nodo = 1 miglio marino/h = 1852 m/h 1 miglio/min = 88,00 ft/s = 60,00 mi/h



Km/h – mi/h



Lunghezza



Misure di lunghezza

- **1792** - Metro campione: distanza tra due linee sottili incise vicino alle estremità di una **sbarra di platino-iridio** (Ufficio Internazionale di Pesi e Misure vicino a Parigi)
- Nel **1960** il metro fu così ridefinito come **1'650'763.73** lunghezze d'onda di una particolare luce color rosso arancio emessa dalla scarica in un tubo a gas rarefatto di Krypton-86 (un particolare isotopo del Kr).
- Nel **1983** il metro fu ridefinito come la distanza che percorre un'onda di luce in uno specifico intervallo di tempo:

Il metro è la lunghezza che la luce percorre nel vuoto in un intervallo di tempo pari a $1/(299792458)$ secondi.

- Questo numero è compatibile con $c = 299792458 \text{ m/s}$.



Alcune lunghezze in natura

TABELLA 1.3 Alcune lunghezze approssimate

Lunghezza	Metri
Distanza delle galassie di prima formazione	$2 \cdot 10^{26}$
Distanza della galassia di Andromeda	$2 \cdot 10^{22}$
Distanza della stella più vicina (Proxima Centauri)	$4 \cdot 10^{16}$
Distanza del pianeta più lontano (Plutone)	$6 \cdot 10^{12}$
Raggio della Terra	$6 \cdot 10^6$
Altezza del monte Everest	$9 \cdot 10^3$
Spessore di questa pagina	$1 \cdot 10^{-4}$
Lunghezza di un virus tipico	$1 \cdot 10^{-8}$
Raggio dell'atomo di idrogeno	$5 \cdot 10^{-11}$
Raggio di un protone	$1 \cdot 10^{-15}$



Alcune lunghezze in natura

Lunghezza	Lunghezza (m)
Distanza dalla Terra alla più lontana quasar nota	1.4×10^{26}
Distanza dalla Terra alla più lontana galassia normale nota	4×10^{25}
Distanza dalla Terra alla più vicina grande galassia (M 31 in Andromeda)	2×10^{22}
Distanza dal Sole alla stella più vicina (Proxima Centauri)	4×10^{16}
Un anno-luce	9.46×10^{15}
Raggio orbitale medio della Terra	1.5×10^{11}
Distanza media Terra-Luna	3.8×10^8
Distanza dall'equatore al polo nord	1×10^7
Raggio medio della Terra	6.4×10^6
Tipica altezza di un satellite terrestre orbitante	2×10^5
Lunghezza di un campo di calcio	9.1×10^1
Lunghezza di una mosca domestica	5×10^{-3}
Dimensione della più piccola particella di polvere	1×10^{-4}
Dimensione delle cellule della maggior parte degli organismi viventi	1×10^{-5}
Diametro di un atomo di idrogeno	1×10^{-10}
Diametro di un nucleo di uranio	1.4×10^{-14}
Diametro di un protone	1×10^{-15}



Misura di lunghezza: Anno Luce

- Una unità molto usata in astronomia è l'anno-luce, che è la distanza percorsa dalla luce in un anno.
- A quanti metri corrisponde?

- In un secondo la luce percorre circa $2.998 \times 10^8 \text{ m}$.
- Un anno è formato da circa 365 giorni e un quarto, per cui ci sono

$$(365 \times 24 + 6) \times 3600 = 3.156 \times 10^7 \text{ sec}$$

- Quindi, l'anno-luce contiene

$$3.156 \times 10^7 \times 2.998 \times 10^8 \text{ m} = 9.462 \times 10^{15} \text{ m}$$

- Un anno-luce è, quindi, circa uguale a 10^{16} m (10 milioni di miliardi di metri)



Tempo



Misure di Tempo

- Il **tempo** ha due aspetti.
 - A volte (scopi civili e scientifici) ci interessa conoscere il momento esatto del giorno in cui si colloca un evento, in modo da poter stabilire una corretta sequenza dei fatti.
 - Per scopi scientifici, spesso, è necessario conoscere la durata di un evento.
- L'unità di misura del tempo (e lo strumento che impieghiamo) deve soddisfare due quesiti:
 - “Quando un evento è accaduto?”
 - “Quanto un evento è durato?”



Misure di Tempo

- Qualsiasi fenomeno ripetitivo può essere impiegato per la misura dello scorrere del tempo.

$$13.8 \times 10^9 \text{ anni}$$

$$365 \times 24 \times 60 \times 60 = 31536000 \text{ secondi/anno}$$

$$13.8 \times 10^9 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60 =$$

$$13.8 \times 10^9 \times 31.536 \times 10^6 = 4,4 \times 10^{17}$$

Intervallo di tempo	Secondi
Tempo calcolato per la vita di un protone	$1 \cdot 10^{39}$
Età dell'universo	$5 \cdot 10^{17}$
Età della piramide di Cheope	$1 \cdot 10^{11}$
Durata media della vita umana	$2 \cdot 10^9$
Durata di un giorno	$9 \cdot 10^4$
Intervallo fra due battiti cardiaci umani	$8 \cdot 10^{-1}$
Vita media del muone	$2 \cdot 10^6$
Il più breve impulso luminoso prodotto e misurato in laboratorio (1989)	$6 \cdot 10^{-15}$
Vita media della particella più instabile	$1 \cdot 10^{-23}$
Il tempo di Planck ^a	$1 \cdot 10^{-43}$

^a Il più breve tempo trascorso dal *Big Bang*, oltre il quale si possono applicare le leggi della fisica come noi le conosciamo.



Fenomeni periodici

- Gli eventi che si ripetono con le medesime caratteristiche a intervalli regolari sono detti *fenomeni periodici*.
- Il **concetto di tempo** è legato all'esistenza di eventi di questo tipo.
- Esempi di fenomeni periodici
 - battito cardiaco,
 - alternarsi del giorno e della notte,
 - movimento oscillatorio di un pendolo.
- Lo svuotamento di una clessidra non è un fenomeno periodico, ma può diventarlo se si capovolge la clessidra non appena si è svuotata la parte superiore.



Orologi digitali

- Negli orologi digitali, i circuiti funzionano come minuscoli calcolatori e tengono il conto del numero di oscillazioni di un cristallo di quarzo, traducendo poi l'informazione in secondi, minuti e ore.



Orologi digitali

- Gli orologi più accurati esistenti oggi al mondo sono gli *orologi atomici*. Possono sbagliare di un secondo ogni milione di anni.

Margine di errore degli orologi	
Tipo di orologio	Margine di errore
Clessidra	1 ora al giorno
Pendolo	10 secondi all'anno
Molla	10 secondi all'anno
Quarzo	alcuni secondi all'anno
Atomico	1 secondo ogni milione di anni

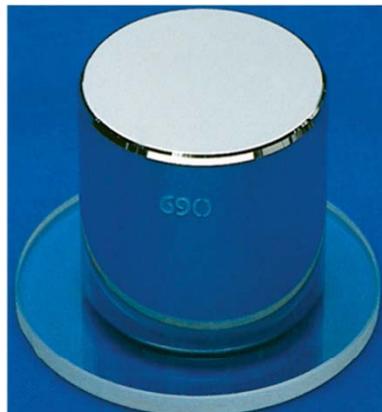


Massa



Misure di Massa (cilindro Platino-Iridio)

- Nel Sistema Internazionale il campione di massa è costituito da un cilindro di platino-iridio (*Ufficio Internazionale di Pesi e Misure*) al quale è stata assegnata, per convenzione internazionale, la massa di 1 kg.



Alcune masse tipiche in natura

	Massa (kg)
Universo	10^{52}
Via Lattea (galassia)	10^{42}
Sole	2×10^{30}
Terra	6×10^{24}
Luna	7×10^{22}
Squalo	3×10^2
Uomo	7×10^1
Rana	1×10^{-1}
Zanzara	1×10^{-5}
Batterio	1×10^{-15}
Atomo	1.67×10^{-27}
di idrogeno	
Elettrone	9.11×10^{-31}



Esempi di misure di massa

Alcune misure di massa

Oggetto	Massa in kilogrammi	Oggetto	Massa in kilogrammi
L'Universo conosciuto	$1 \cdot 10^{53}$	Un elefante	$5 \cdot 10^3$
La nostra galassia	$2 \cdot 10^{41}$	Un acino d'uva	$3 \cdot 10^{-3}$
Il Sole	$2 \cdot 10^{30}$	Un granello di polvere	$7 \cdot 10^{-10}$
La Luna	$7 \cdot 10^{22}$	Una molecola di penicillina	$5 \cdot 10^{-17}$
L'asteroide Eros	$5 \cdot 10^{15}$	L'atomo di uranio	$4 \cdot 10^{-25}$
Piccola montagna	$1 \cdot 10^{12}$	Il protone	$2 \cdot 10^{-27}$
Un transatlantico	$7 \cdot 10^7$	L'elettrone	$9 \cdot 10^{-31}$



Misure di Massa (atomo di Carbonio)

- Nei laboratori scientifici siamo in grado di confrontare le masse degli atomi con precisione maggiore che tra masse solido (cilindro di Platino-Iridio)
- Per tale motivo è stata attribuita all'atomo di **Carbonio 12** (^{12}C) la massa di 12 unità di massa atomica (u).
- Ne consegue che il rapporto fra le due unità risulta:

$$1 \text{ u} = 1.6605402 \times 10^{-27} \text{ kg}$$



Massa e Peso

- È il caso di precisare subito (*ma lo vedremo in seguito*) che massa e peso sono due concetti diversi.
 - «**Peso**» significa «forza su un corpo dovuta alla gravità».
 - «**Massa** » è una misura di quanta «roba» («atomi») contiene un corpo. La massa degli atomi di un corpo è ciò che gli dà l'«inerzia», un termine fantasioso che indica la resistenza al cambiamento quando è applicata una forza.



Volume unità alternative specifiche

Barile	159 litri (petrolio)
Gallone (Gran Bretagna)	4.546 l
Gallone (USA)	3.785 l
Oncia (liquido, Gran Bretagna)	0.1420653 l
Oncia (liquido, USA)	0.029573534 l
Pinta (liquido, Gran Bretagna)	0.473176473 l
Pinta (liquido, USA)	0.56826125 l
Pinta (volume secco)	550.6105 cm ³



Massa: unità alternative specifiche

Libbra (avoir, usata in genere per le merci)	0.45359273 kg
Libbra (troy, usata per i metalli preziosi)	0.37324172 kg
Carati	0.205197 g



Lunghezza: unità alternative specifiche

Pollice	2.54 cm
Piede	0.3048 m
Miglio (nautico)	12.852 Km
Miglio (terrestre)	1.609344 Km
Yarda	0.9144 m
Lega (nautica)	5.5596 Km
Lega (terrestre)	4.828 Km
Unità Astronomica	149'600'000 Km
Anno luce	9'467'660'160'950.6 Km



Area: unità alternative specifiche

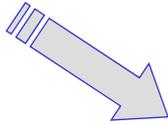
- Per l'area si impiegano tuttora differenti unità di misura. Le unità "storiche", scelte in base a scelte rurali locali, sono state sostituite da altre più condivise:
 - metro quadro (m^2)
 - ettaro: $1 \text{ ha} = 10.000 \text{ m}^2$ (usata per misurare l'estensione di terreni)
 - chilometro quadro: $1 \text{ km}^2 = 1.000.000 \text{ m}^2$ (usato per la misura di territori di estensione media e grande (superfici comunali, provinciali, regionali, nazionali, continentali e planetarie)
 - piede quadrato: $1 \text{ piede quadrato} = 0,09290304 \text{ m}^2$ — (unità di misura anglosassone)
 - iarda quadrata: $1 \text{ yarda quadrata} = 9 \text{ piedi quadrati} = 0,83612736 \text{ m}^2$
 - miglio quadrato: $1 \text{ miglio quadrato} = 2.589.988,1103 \text{ m}^2$
 - acro internazionale: $1 \text{ acro} = 4.046,8564224 \text{ m}^2$



Misurazione



Misura degli oggetti



Fasi di una misurazione

- Quale grandezza misurare
 - Scopo/decisione/modello
- Quale unità di misura adottare
 - Convenienza/universalità/aspetti legali e scientifici/stabilità e ripetibilità
- Relazione fra la grandezza e l'unità di misura
 - Risoluzione/precisione/accuratezza
- Il mondo esterno è isolato?
 - Influssi sullo strumento/ sul comparatore/sulla grandezza, generano incertezza



Scopi e tecniche differenti

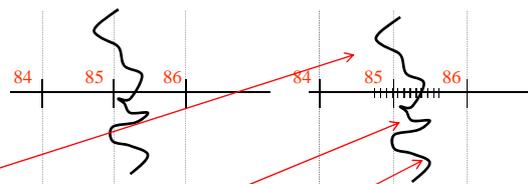
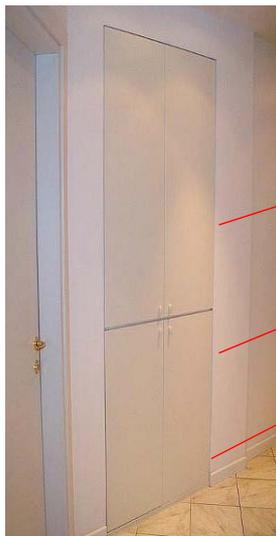
- Chi deve svolgere il proprio compito può avere :
 - scopi differenti
 - tecniche di misurazione differenti

ESEMPIO:

- Armadio a muro da inserire in una nicchia di
 - 2.2 m (h) × 85 cm (l) × 30 cm (p)
- Misura del *muratore* (entro la tolleranza della calce),
 - 2.2 m ± 1 cm
 - 85 cm ± 1 cm
- Misura del *falegname* (entro la superficie del legno),
 - 2.2 m ± 1 mm
 - 85 cm ± 1 mm



Procedura di misura



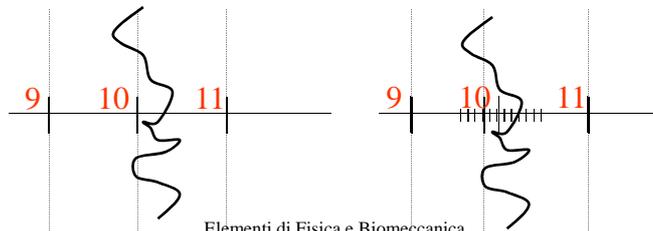
Misura laterale della nicchia:

- $(85 - 1) \text{ cm} < x < (85 + 1) \text{ cm}$
- entro 1 cm la lunghezza *non* varia
- entro 1 mm la lunghezza oscilla

- entro 1 mm la nicchia *non* è un parallelepipedo perfetto...



Procedura di misura

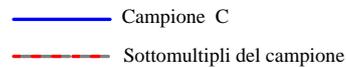


Procedura di misura

- Una grandezza ha significato in fisica se, e solo se, è possibile misurarla.



- Per misurarla occorre
 - Definire un campione
 - Definire una procedura per confrontare la grandezza con il campione



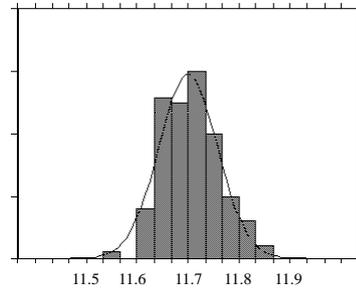
- Risultato della misura:

- Un numero e un'unità di misura $L_{AB} = X.Y \text{ campioni}$



Procedura di misura

- Ogni misura è affetta da errori
 - Errori sistematici
 - Errori casuali



- $L = 11,7 + 0,1 \text{ cm}$
 - ↑ *valore*
 - ↑ *errore esplicito*

- oppure $L = 11,7 \text{ cm}$
 - ↑ *cifre significative*
 - ↑ *errore implicito sull'ultima cifra*



Peso moneta da 1 Euro

	mm	mm	g	Esterno €1/Interno: €2: Nichel ottone 75% rame 20% zinco 5% nichel	smerlato (bordo rigato)	Mapa dell'Europa (sul lato destro)
€1 (1 euro)	23,25 mm	2,33 mm	7,50 g Interno: 3,71 g 8,50 g		3 segmenti lisci e 3 finemente rigati (alternati tra loro)	

- **valore per peso**
 - 100 grammi (circa 13 monete) valgono 13,00 €
 - 500 grammi (circa 66 monete) valgono 66,00 €
 - 1 chilo (circa 133 monete) vale 133,00 €
 - 5 chili (circa 666 monete) valgono 666,00 €
 - 10 chili (circa 1.333 monete) valgono 1.333,00 €
- **peso per valore**
 - Per fare cento euro ci vogliono 100 monete, del peso di 750 grammi.
 - Per fare mille euro ci vogliono 1.000 monete, del peso di 7,5 chilogrammi.
 - Per fare diecimila euro ci vogliono 10.000 monete, del peso di 75,0 chilogrammi.
 - Per fare centomila euro ci vogliono 100.000 monete, del peso di 750,0 chilogrammi.
 - Per fare un milione di euro ci vogliono 1.000.000 monete, del peso di 7,5 tonnellate.



Stima



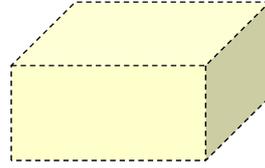
Stima di ordini di grandezza

- È spesso utile valutare la risposta approssimata ad un dato problema fisico anche quando abbiamo a disposizione una scarsa informazione.
- Si possono poi adoperare tali risultati per decidere se un calcolo più preciso sia necessario o meno.
- Queste approssimazioni sono basate su certe ipotesi che vanno modificate laddove si richiede una maggiore precisione.
- Pertanto, talvolta faremo riferimento ad un *ordine di grandezza* di una data quantità espresso come la potenza di dieci del numero che descrive quella grandezza.



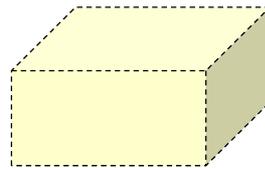
Stima dei dati

- Quanto pesa l'aria in questa stanza ?
 - a) Come una piuma.
 - b) Come un gatto
 - c) Come un'automobile
 - d) Come un treno



Stima dei dati

- Una stanza ha il pavimento di dimensioni 3.5 m per 4.2 m ed altezza 2.4 m.
- Qual è la massa dell'aria contenuta?
- Qual è il peso dell'aria?



Massa

- La massa dell'aria contenuta è legata alla densità (massa volumica) che è 1.21 kg/m³ ed al volume della stanza:

$$m = \rho V = \left(1.21 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) (3.5\text{m} \times 4.2\text{m} \times 2.4\text{m})$$

$$m = \rho V = 42.69 \text{ kg}$$

Peso

- Il peso è:

$$P = mg = (42.69 \text{ kg}) \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$

$$P = mg = 418,35 \text{ N}$$

Confronto:

- Massa piuma (qualche grammo)
- Massa gatto (qualche kg)
- Massa auto (1300 kg)
- Massa motrice ETR-500 (68 t = 68000 kg)



Il gomitolo



Problema svolto 1.3

Il più grande gomitolo di spago esistente in commercio ha circa 2 m di raggio. Qual è la lunghezza totale dello spago, al più vicino ordine di grandezza?

SOLUZIONE: Potremmo naturalmente disfare il gomitolo e misurarne la lunghezza. Ma, oltre alla fatica che richiederebbe a noi, l'incaricato di riavvolgerlo non farebbe salti di gioia. Dato che in questo esempio ci accontentiamo però dell'ordine di grandezza, l'idea chiave consiste nello stimare tutti i dati che ci servono.

Supponiamo che il gomitolo sia sferico di raggio $R = 2$ m. La corda non è impacchettata così stretta da non lasciare all'interno spazi vuoti tra un avvolgimento e l'altro, di misura non quantificabile. Per tener conto anche di questi spazi vuoti, sovrastimiamo la sezione di corda assumendo che essa sia quadrata, con lato di lunghezza $d = 4$ mm. Avendo quindi un'area di sezione pari a d^2 e una lunghezza L , il volume occupato dalla corda è dato da

$$V = (\text{area di sezione})(\text{lunghezza}) = d^2 L.$$

Questo volume deve equivalere approssimativamente a quello della palla, dato da $\frac{4}{3}\pi R^3$, arrotondato a $4R^3$ giacché π vale circa 3. Abbiamo dunque

$$d^2 L = 4R^3$$

ossia

$$L = \frac{4R^3}{d^2} = \frac{4(2 \text{ m})^3}{(4 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2} = 2 \cdot 10^6 \text{ m} \approx 10^6 \text{ m} = 10^3 \text{ km}.$$

Si noti che per questi tipi di calcoli semplificati non serve la calcolatrice.

Dunque, al più vicino ordine di grandezza, il gomitolo contiene 1000 km di spago!



Esempi

Esempio 1.4 Il numero di atomi in un solido

Stimate il numero di atomi in 1 cm^3 di un solido.

Soluzione Dalla Tabella 1.1 notiamo che il diametro di un atomo è circa 10^{-10} m. Pertanto, se nel nostro modello supponiamo che gli atomi del solido siano delle sfere piene con quel diametro, allora il volume di ciascuna sfera è circa 10^{-30} m^3 (più precisamente, volume =

$\frac{4\pi r^3}{3} = \pi d^3/6$, con $r = d/2$). Quindi, poiché $1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$, il numero di atomi nel solido è dell'ordine di $10^{-6}/10^{-30} = 10^{24}$ atomi.

Un calcolo più preciso richiederebbe la conoscenza della densità del solido e la massa di ciascun atomo. Comunque, la nostra stima concorda con il calcolo più preciso entro un fattore 10.

Esempio 1.5 Quanta benzina si consuma?

Stimate il quantitativo di litri di benzina consumati annualmente da tutte le automobili negli U.S.A.

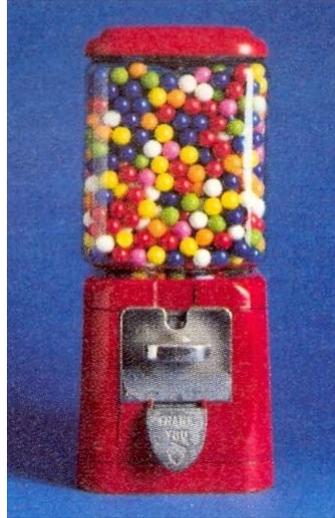
Soluzione Poiché negli Stati Uniti la popolazione è di circa 240 milioni di persone, una stima del numero di automobili è di 60 milioni (assumendo un'automobile per famiglia e quattro persone per famiglia). Dobbiamo anche stimare che la distanza media percorsa in un anno è di 16 000 km. Se supponiamo un consumo di

benzina di 9 km/litro, un'automobile utilizza circa 1700 litri/anno. Moltiplicando per il numero totale di automobili otteniamo una stima del consumo totale di 1×10^{11} litri. Ciò corrisponde ad una spesa annua di più di 30 miliardi di dollari! Questa stima è probabilmente inferiore a quella reale in quanto non abbiamo tenuto conto del consumo commerciale o di fattori quali quello di famiglie con due automobili.



Quanti chewing gum?

- Stima delle palline di gomma da masticare contenute nel distributore in figura.



Elementi di Fisica e Biomeccanica
A.A. 2015-2016 - Prof. Nicola Cavallo

116

Quanti accordatori ci sono a Potenza?



Elementi di Fisica e Biomeccanica
A.A. 2015-2016 - Prof. Nicola Cavallo

121

Area della superficie della pelle umana?

- Qual è l'area della superficie del corpo umano?
- Tenete conto della sola pelle esterna (senza contare la superficie interna dell'apparato digerente)

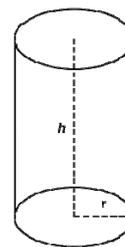
SUGGERIMENTI

- Schematizzare il corpo come un foglio bidimensionale e stimarne lunghezza e larghezza (non dimenticare l'area della superficie posteriore).
- In alternativa immaginare di essere un cilindro stimando altezza e raggio (l'area della superficie laterale di un cilindro -ignorando i due cerchi sopra esatto- è data da 2π per il raggio per l'altezza; il volume del cilindro è π^2h).



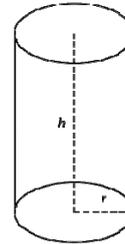
Area della superficie della pelle umana?

- Il valore dell'area della pelle è importante perché determina
 - quanto tessuto occorre per confezionare un abito,
 - quanta luce solare assorbiamo in spiaggia,
 - a quale forza siamo sottoposti quando andiamo sott'acqua,
 - quanto possiamo sudare e anche
 - quale dose possiamo prendere di certe medicine.
- Ci sono almeno due modelli che danno approssimazioni ragionevoli:
 - L'essere umano come cilindro
 - L'essere umano come foglio piatto.



Area della superficie della pelle umana?

- $Area = 2\pi rh$
- $H = 2\text{ m}$
- $r = 0,3\text{ m}$ ($0,1 < r < 1,0$)
- $Area = 2\pi rh = 4\text{ m}^2$



- $base = 0,5\text{ m}$
- $h = 2\text{ m}$
- $Area = bh = 2\text{ m}^2$



Pressione atmosferica sulla pelle

- La pressione atmosferica è pari a dieci tonnellate per metro quadrato, il che equivale a 1 kg che preme su ogni centimetro quadrato della vostra pelle (una forza bilanciata dal fatto che anche l'interno del vostro corpo si trova alla pressione atmosferica).
- Quando un atleta si immerge in apnea fino a una profondità di 50 m, si aggiungono altre 50 tonnellate di pressione idrostatica per metro quadrato: in totale altre 100 tonnellate d'acqua che premono sul suo corpo. Pare stupefacente che il corpo umano possa resistere a forze simili!



Esempi di pressione mare/atmosfera

- Sopra la superficie marina

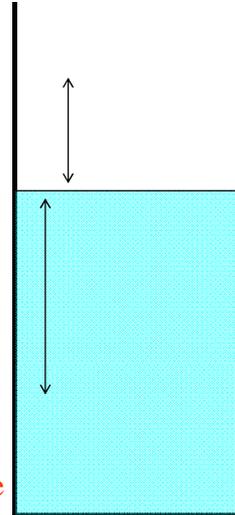
$$p(h) = p_0 - \rho_{aria} gh$$

- Sotto la superficie marina

Legge di Stevino

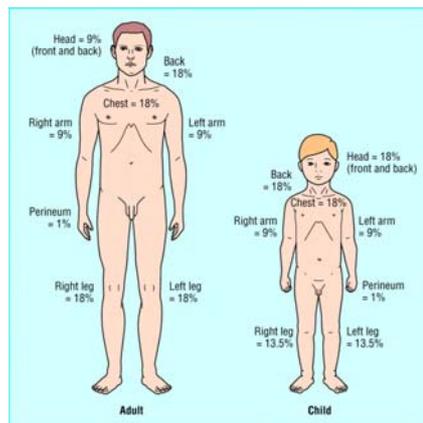
$$p(h) = p_0 + \rho_{acqua} gh$$

sovrappressione



BSA (Body Surface Area)

- La superficie corporea o **BSA** (dall'inglese *body surface area*) è importante in medicina per calcolare la dose appropriata di certi farmaci.



Lunghezza dei capelli femminili?

- Qual è la lunghezza complessiva di tutti i capelli su una testa femminile media?



SUGGERIMENTI

- Qual è l'area della superficie del cuoio capelluto?
- Qual è la distanza media tra i capelli? (numero di capelli/cm²)
- Quanto è lungo ciascun capello?



Lunghezza dei capelli femminili?

- Una spanna è lunga circa 20 cm e corrisponde più o meno al diametro della testa.

Immaginiamo che la testa sia una sfera con raggio $r = 10$ cm e il cuoio capelluto una semisfera;

- L'area è data da:

$$A_{\text{cuoio capelluto}} = \frac{1}{2} 4\pi r^2 = 6 \times (10 \text{ cm})^2 = 600 \text{ cm}^2$$

- (Se schematizzassimo il cuoio capelluto come un quadrato con i lati lunghi 20 cm, otterremmo 400 cm²)



Lunghezza dei capelli femminili?

- densità dei capelli (numero per centimetro quadrato)
- possiamo contare il numero di capelli in un centimetro ed elevare questo numero al quadrato.
- Ci sono uno o due capelli al millimetro, quindi 10-20 al centimetro;
- Quindi, il numero di capelli in un centimetro quadrato è tra 100 e 400.
- Se prendiamo il valore 200 il numero totale di capelli sulla testa (di una persona non affetta da calvizie) risulta essere circa centomila:

$$N = 6 \times 10^2 \text{ cm}^2 \times 2 \times 10^2 \text{ capelli} / \text{cm}^2 = 10^5 \text{ capelli}$$



Lunghezza dei capelli femminili?

- Stimiamo la lunghezza di un capello tipico.
- I capelli femminili sono lunghi 1-100 cm
- la lunghezza media è, quindi, 10 cm

$$L = 10^5 \text{ capelli} \times 10 \text{ cm} / \text{capelli} = 10^6 \text{ cm} = 10 \text{ km}$$



Riferimenti bibliografici



Elementi di Fisica e Biomeccanica
A.A. 2015-2016 - Prof. Nicola Cavallo

132